

一种简单的估算植被覆盖度和恢复背景信息的方法

唐世浩^{1,2)} 朱启疆¹⁾ 周宇宇¹⁾ 白香花¹⁾

¹⁾(北京师范大学资源系遥感与GIS研究中心,北京 100875)

²⁾(中国科学院遥感应用研究所,北京 100101)

摘要 植被覆盖度是评估生态环境的一个重要参数,其对于全球环境变化和监测研究具有重要意义。如何从遥感资料估算植被覆盖度,并提高估算精度是建立全球或区域气候、生态模型的基础工作。该文从分析土壤、植被光谱信号的特点出发,根据植被覆盖度的定义,推导出计算植被覆盖度的方法,并进一步提出了计算植被覆盖度的三波段最大梯度差法。在此基础上,对部分植被覆盖下的土壤光谱实现重建。上述方法实现简单,适用范围广,并可有效分离植被、土壤的影响,因而有望替代常用的通过NDVI估算植被覆盖度的方法。

关键词 林业遥感(220·2530) 遥感 植被覆盖度 反演 植被指数

中图分类号: TP751.1 TP79:S771.8 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)11-1304-05

A Simple Method to Estimate Crown Cover Fraction and Rebuild the Background Information

TANG Shi-hao^{1,2)}, ZHU Qi-jiang¹⁾, ZHOU Yu-yu¹⁾, BAI Xiang-hua¹⁾, SHUAI Yan-min¹⁾

¹⁾(Research Center for Remote Sensing and GIS, Dept. Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875)

²⁾(Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract Crown cover fraction is an important ecological and environmental parameter. It's very important for the study of global environment change and observation. How to estimate crown cover fraction from remote sensing data and how to improve its precision are key work for the developing of global or regional climatic and ecological models. In the study, the authors developed a new method to estimate crown cover fraction according to the characters of soil and vegetation spectra and the definition of crown cover fraction. Furthermore, they also put forward a more simple method on that basis, which is called maximal gradient difference method. Once the crown cover fraction is known, the background spectra for pixels that are partly covered by vegetation can be rebuilt easily under the assumption of linear spectra mixing. Using the above method, the authors have successfully retrieved background information of a TM image of Colorado State. The introduced methods are simple, easy to performance, and can separate the effect of soil and vegetation effectively, so it's possible for them to replace the method of estimating crown cover fraction from NDVI, which is used widely at present. The authors also pointed out that if noise is removed from data before performing the method, the result will be much perfect.

Keywords Remote sensing, Crown cover fraction, Inversion, Vegetation index

0 前言

植被覆盖度可定义为单位面积上的植被覆盖面

积,其是评估生态环境的一个重要参数。由于它不仅描述生态系统的一个重要基础数据,同时又是水文、气象、生态模式的基本参数,因此获取地表植被覆盖度及其变化信息,对于揭示地表空间变化规律、探

讨论变化的驱动因子、分析评价区域生态环境具有重要的现实意义^[1]。

植被覆盖度的计算方法可分为地表实测和遥感监测两类^[2]。由于植被覆盖度具有显著的时空分异特性,地表实测的方法不仅费时费力,而且对大尺度研究来说,这种方法既不现实,也不可能,因而遥感监测已成为估算植被覆盖度的主要手段。遥感估算植被覆盖度的方法大致可归纳为以下两种^[2]:经验模型法和植被指数转换法。其中,经验模型法主要是通过建立实测植被覆盖度数据与植被指数的经验模型来求取大面积植被覆盖度^[3,4]。这种经验模型法由于需依赖于特定区域的实测数据,故虽然在局地使用效果可能较好,但在大面积推广应用时则受到限制;植被指数转换法是在对光谱信号进行分析的基础上,通过建立植被指数与植被覆盖度的转换关系来直接估算植被覆盖度。由于植被指数转换法不依赖于实测的植被覆盖度数据,因而在实际工作中使用较多。目前比较广泛使用的是 Gutman 提出的一种根据归一化差值植被指数(NDVI)来计算植被覆盖度的方法,其基本原理是假定像元 NDVI 值 V 由植被覆盖部分的 NDVI 值 V_{max} 与非植被覆盖部分的 NDVI 值 V_{min} 的加权平均和构成^[5],即

$$V = AV_{max} + (1 - A)V_{min} \quad (1)$$

进而得到

$$A = (V - V_{min}) / (V_{max} - V_{min}) \quad (2)$$

其中, V_{min} 为最小植被指数,即裸土条件下的 NDVI 值; V_{max} 为最大植被指数,即全植被覆盖条件下的 NDVI 值; A 为植被覆盖度。

该式虽然物理意义比较清楚,但在实际使用中,其中的 V_{max} 和 V_{min} ,尤其是 V_{min} 的确定十分困难。由于 NDVI 本身无法完全分离植被和土壤的影响,不管是裸土还是部分植被覆盖的像元,其 NDVI 值都可能是一个较小的正数,这一点从 NDVI 的定义和裸土与植被的光谱特点就可以分析出来,因此 V_{min} 的确定往往只能根据经验,这必然影响计算结果的精度和可信性。

为此,本文提出了一种基于三波段梯度的植被覆盖度计算方法,并在此基础上探讨了弱植被覆盖下的下垫面信息恢复的可行性。

1 三波段梯度差法估算植被覆盖度和恢复背景信息

大家知道,植被反射光谱在绿光波段有一个低

反射峰,在近红外波段有一个高反射峰,在红光波段有一个吸收峰;而土壤光谱则在绿到近红外波段呈近似线性变化。图 1 为 jhu 光谱数据库中 25 种土壤在 0.565~0.825 μm 之间的光谱曲线,从该曲线可以看出,在上述波长范围内,大部分土壤光谱呈近似线性变化。由于绿、红、近红外波段是一般传感器都具有的 3 个波段,因此根据上述特点,提出一种根据绿、红、近红外 3 个波段梯度差来计算植被覆盖度的方法。

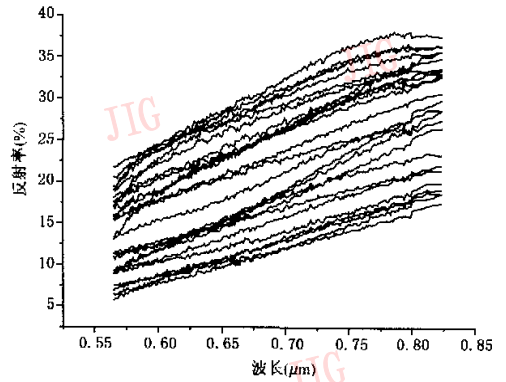


图 1 jhu 光谱数据库中 25 种土壤反射光谱 (0.565~0.825 μm)

假设在绿、红、近红外波段图象上,植被、土壤面积比不随波段变化而变化(实际上,一些通用的植被指数一定程度上都隐含了该假设),则像元的反射率为像元内植被反射率和土壤反射率的面积加权(误差项暂不考虑),于是 3 个波段的反射率为

$$R_n = AR_{v,n} + (1 - A)R_{s,n} \quad (3)$$

$$R_r = AR_{v,r} + (1 - A)R_{s,r} \quad (4)$$

$$R_g = AR_{v,g} + (1 - A)R_{s,g} \quad (5)$$

其中, R_n, R_r, R_g 分别为近红外、红、绿波段的反射率, R_v, R_s 为相应波段植被和土壤的反射率, A 为植被覆盖面积比(即覆盖度),则植被、土壤各波段的反射率统一表示为 $R_{v,n}, R_{v,r}, R_{v,g}, R_{s,n}, R_{s,r}, R_{s,g}$ 。

三波段梯度分别为

$$\frac{R_n - R_r}{\lambda_n - \lambda_r} = \frac{A(R_{v,n} - R_{v,r})}{\lambda_n - \lambda_r} + \frac{(1 - A)(R_{s,n} - R_{s,r})}{\lambda_n - \lambda_r} \quad (6)$$

$$\frac{R_r - R_g}{\lambda_r - \lambda_g} = \frac{A(R_{v,r} - R_{v,g})}{\lambda_r - \lambda_g} + \frac{(1 - A)(R_{s,r} - R_{s,g})}{\lambda_r - \lambda_g} \quad (7)$$

其中, $\lambda_n, \lambda_r, \lambda_g$ 为近红外、红、绿波段的波长;下角 v, s 分别代表植被、土壤。

假定在所选波段,土壤光谱随波长呈线性变化,其斜率为 K ,即 $\frac{R_{s,ir}-R_{s,r}}{\lambda_{ir}-\lambda_r} = \frac{R_{s,r}-R_{s,g}}{\lambda_r-\lambda_g} = K$,则3个波段梯度差为

$$d = \frac{R_{ir}-R_r}{\lambda_{ir}-\lambda_i} - \frac{R_r-R_g}{\lambda_r-\lambda_g} = A \left[\frac{(R_{s,ir}-R_{s,r})}{\lambda_{ir}-\lambda_i} - \frac{(R_{s,r}-R_{s,g})}{\lambda_r-\lambda_g} \right] \quad (8)$$

于是得

$$A = \frac{\left[\frac{R_{ir}-R_r}{\lambda_{ir}-\lambda_i} - \frac{R_r-R_g}{\lambda_r-\lambda_g} \right]}{\left[\frac{(R_{s,ir}-R_{s,r})}{\lambda_{ir}-\lambda_i} - \frac{(R_{s,r}-R_{s,g})}{\lambda_r-\lambda_g} \right]} \quad (9)$$

上式中,由于 $R_{ir}, R_r, R_g, \lambda_{ir}, \lambda_i, \lambda_g$ 均已知,因此只要知道全植被覆盖时的光谱即可确定植被覆盖度 A .

1.1 纯像元光谱的确定

若图象上存在纯植被覆盖像元,则纯植被像元光谱可通过图2的流程得到,即首先对图象进行 MNF (Minimum Noise Fraction) 变换, MNF 变换实质上是两个层叠的主成分变换,用其可有效消除噪声^[6];然后选择 MNF 变换后不含噪声的波段来计算光谱纯化指数(PPI), PPI 的计算是通过不断将 N 维散点图投影到随机的单位矢量来实现^[7],这样就将像元落到单位矢量端点的次数记录下来,该次数越多,像元可能越纯;接着选择 PPI 大于一定界限值的像元作为训练区,并通过 N 维可视化来观察训练区中像元在空间中的分布;最终确定纯植被像元光谱.上述步骤可借助 ENVI(The Environment for Visualizing Images) 等遥感图象处理软件实现.

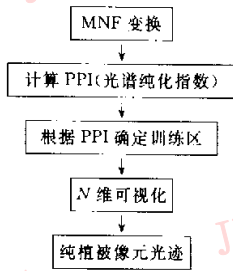


图2 纯植被像元光谱确定流程

1.2 最大梯度差法

上面确定纯像元光谱的方法仍然过于繁琐,事实上对于同种植被覆盖来说,若图象上存在纯植被覆盖像元,则可以不必通过寻找纯植被光谱来计算植被覆盖度.图3为波长在 $0.55 \sim 0.85 \mu\text{m}$ 范围内典型的植被和土壤光谱曲线.通过分析该曲线可以

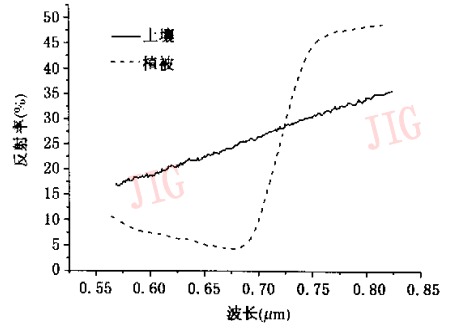


图3 典型的土壤和植被光谱曲线(0.55~0.85 μm)

看出,对于近红外、红、绿3个波段梯度差来说,土壤面积的增加和植被面积的减小总是使该梯度差趋于减小,反之则趋于增大,而对于全植被覆盖来说,该梯度差最大.于是式(9)可改写为

$$A = d/d_{\max} \quad (10)$$

d 为3个波段梯度差,可通过波段运算得到

$$d = \left(\frac{R_{ir}-R_r}{\lambda_{ir}-\lambda_r} - \frac{R_r-R_g}{\lambda_r-\lambda_g} \right) \quad (11)$$

其中, R_{ir}, R_r, R_g 分别代表近红外、红、绿3个波段反射率, $\lambda_{ir}, \lambda_r, \lambda_g$ 为该3个波段波长, d_{\max} 为3个波段的最大梯度差

$$d_{\max} = \max(d) \quad (12)$$

1.3 土壤光谱重建

确定了植被覆盖度后,就可对非完全植被覆盖像元下的土壤光谱进行重建^[8],其计算公式为

$$\begin{cases} R_s(i) = \frac{R(i) - AR_v(i)}{1 - A} & i \text{ 为波段号} \\ R_s(i) = 0 & \text{若 } R_s(i) < 0 \\ R_s(i) = 1 & \text{若 } R_s(i) > 1 \end{cases} \quad (13)$$

其中, $R_s(i)$ 为第 i 波段的纯植被反射光谱,其可由前面介绍的纯植被光谱确定方法或由图象上最大光谱梯度差的像元光谱得到, $R_s(i)$ 为消除植被影响后第 i 波段的土壤反射率值.

2 应用实例

图版II图1为美国科罗拉多地区一幅校正后的 TM 反射率图象,图中红色区域为植被. TM 的2、3、4波段分别对应绿、红、近红外3个波段,中心波长为 $0.56 \mu\text{m}, 0.66 \mu\text{m}, 0.83 \mu\text{m}$. 该 TM 图象的植被覆盖度计算公式为

$$A = \begin{cases} \frac{R_{v,r} - R_r}{0.83 - 0.66} - \frac{R_r - R_g}{0.66 - 0.56} \\ \frac{R_{v,r} - R_{v,r}}{0.83 - 0.66} - \frac{(R_{v,r} - R_{v,g})}{0.66 - 0.56} \end{cases} \quad (14)$$

$A = 0$, 若 $A < 0$
 $A = 1$, 若 $A > 1$

或

$$\begin{cases} A = d/d_{max} \\ A = 0, \text{若 } A < 0 \\ A = 1, \text{若 } A > 1 \end{cases} \quad (15)$$

其中

$$d = \left(\frac{R_{v,r} - R_r}{0.83 - 0.66} - \frac{R_r - R_g}{0.66 - 0.56} \right) \quad (16)$$

式(14)采用的纯植被像元光谱见图 4。

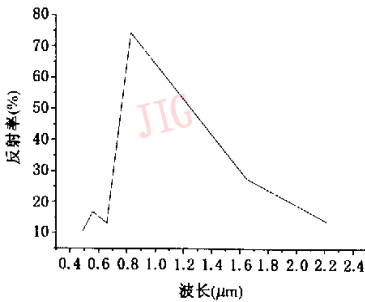


图 4 纯植被光谱

图版 III 图 2、图 3 分别为采用式(14)、(15)计算的覆盖度图象,从该两图可看出,两种方法的计算结果基本一致。

由于像元尺度的植被覆盖度难于直接观测,因此本文采用与 NDVI 法计算植被覆盖度相比较的方法进行间接验证。NDVI 计算植被覆盖度的具体方法参见文献[1,2]。图版 III 图 4 为通过 NDVI 法计算得到的植被覆盖度图象。统计表明,图版 III 图 3 与图版 III 图 4 两幅图象之间具有很好的相关性,相关系数达到 0.92。为衡量两种方法的优劣,进一步在图象上选取高植被覆盖区、低植被覆盖区、非植被覆盖区(参见图版 III 图 1 中绿色箭头所示),并分别用本文算法与 NDVI 法来计算不同植被覆盖区域的平均值和标准偏差。通过比较两种方法计算的均值和标准偏差(见表 1)可以看出,在高植被覆盖区,两种方法的计算结果相差不大;在低植被覆盖区,本文方法计算的均值略低于 NDVI 法的计算值;在非植被覆盖区,与 NDVI 法相比,由于本文的方法具有更好的稳定性。通过分析土壤的光谱特点可以看

出,在大多数情况下,土壤对像元的 NDVI 的贡献为正贡献,即趋于增大像元内植被的实际贡献,虽然这种影响在高植被覆盖时并不明显,但在低植被覆盖时,会导致对植被覆盖度的偏高估计。与 NDVI 法相比,由于本文方法能够更好消除土壤背景的影响,因而在低植被覆盖时,其计算结果比 NDVI 法略低是合理的。

表 1 本文算法与 NDVI 法计算结果比较

	本文算法(参见图版 III 图 3)			本文算法(参见图版 III 图 4)		
	高植被覆盖区	低植被覆盖区	非植被覆盖区	高植被覆盖区	低植被覆盖区	非植被覆盖区
均值	0.70	0.23	0	0.71	0.29	0.01
标准偏差	0.05	0.04	0.01	0.04	0.03	0.03

图版 III 图 5 为根据式(13)重建的消除植被影响后的背景图象,由计算结果可以看到,该方法只对植被覆盖区产生影响,而对于裸土区则几乎没有任何影响(图版 III 图 1 和图版 III 图 5 显示的色调差异,是由两幅图象整体的直方图不一致造成的,实际上两幅图象裸土区的像元灰度值完全一致)。这是由于对于裸土区,其梯度差一般小于或等于零,即式(14)和式(15)的分子小于等于零,其计算的植被覆盖度也趋于零,因而后面的计算对裸土区几乎没有影响。这也是该方法可以有效消除植被影响,而又不影响图象整体效果的原因。

3 结论与讨论

与通过 NDVI 计算植被覆盖度的方法相比,三波段梯度差或最大梯度差法并不需要更多的前提假设和参数,却可对植被和土壤实现分离。由于该方法不仅可直接将光谱信号与植被覆盖度建立联系,而且计算也很简单,因此具有更大的优势,完全可以替代通过 NDVI 计算植被覆盖度的方法,即在从光谱信号到植被覆盖度的转换中没有必要多一步植被指数的运算。

在消除土壤背景影响方面,三波段最大梯度差法虽然在精度上可能无法与一些专门消除土壤影响的植被指数相比,但却具有其他植被指数无法比拟的优势,即计算简单,无需太多参数。

该方法若与高精度地表分类图相配合,还可以取得更好的效果。由于该方法只需要知道全植被覆盖时的光谱,因此在多种植被被类型混合、或虽是同种植被类型,但叶面积指数不同的情况下同样适用,只

不过这时候需要将它们作为单独的类型分别加以考虑,而且若不同类型间的纯植被像元光谱在近红外、红、绿 3 个波段没有明显差异,则计算植被覆盖度时可不必进行区分。

在前面的线性光谱混合模型中,虽然没有考虑噪声的影响,但是从推导过程可以看出,通过梯度相减相除的办法,噪声在很大程度上被抑制了。当然,如果在计算植被覆盖度前,先对图象进行去噪处理,则效果会更理想。

致 谢 在成文过程中得到北师大资环学院李小文院士、王锦地教授的支持和指导,谨致谢忱!

参 考 文 献

- 1 陈云浩,李晓兵,史培军等. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. 植物生态学报,2001,25(5):588~593.
- 2 陈晋,陈云浩,何春阳等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报,2001,5(6):416~423.
- 3 Dymond J R, Stephens P R, Newsome P F *et al.* Percent vegetation cover of a degrading rangeland from SPOT [J]. International Journal of Remote Sensing,1992,13(11):1999~2007.
- 4 Wittich K P, Hansing O. Area-averaged vegetative cover fraction estimated from satellite data[J]. International Journal of Biometeorology,1995,38(3):209~215.
- 5 Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/ AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8):1533~1543.
- 6 Boardman J W, Kruse F A. Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada[A]. In: Boardman J W cdi; Proceedings of ERIM (Environmental Research Institute of Michigan) Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing [C]. Ann Arbor MI, USA: Environmental Research Institute of Michigan, 1994:407~418.

- 7 Boardman J W, Kruse F A, Green R O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data [A]. In: Boardman J W edi. Proceedings of Fifth JPL (Jet Propulsion Laboratory) Airborne Earth Science Workshop [C]. Pasadena, California, USA: JPL Publication. 1995, 1:23~26.
- 8 马超飞, 陶启忠, 马建文等. 定量消除植被影响的补偿置换方法研究[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4A(7):553~556.



唐世浩 1971 年生, 博士后, 2001 年获北京师范大学遥感与 GIS 专业博士学位。主要从事遥感基础理论、遥感与 GIS 应用等方面的研究, 承担和参与多项国家和省部级科研项目, 已在国内外核心期刊发表论文 20 余篇, 其中多篇为 SCI 或 EI 收录论文。



朱启疆 1960 年毕业于北京大学, 现为北京师范大学教授, 博士生导师。研究兴趣集中于自然过程与环境模拟及其可视化, 如森林火场蔓延、土壤侵蚀过程、植被冠层反射等模型研究。发表论文 50 余篇。



周宇宇 1979 年生, 现为北京师范大学资源与环境科学系地图学与地理信息系统专业硕士研究生。研究方向为遥感应用。



白香花 1975 年 2 月生, 北京师范大学遥感与地理信息系统研究中心硕士研究生, 工程师。研究方向为遥感图象处理与地理信息系统。

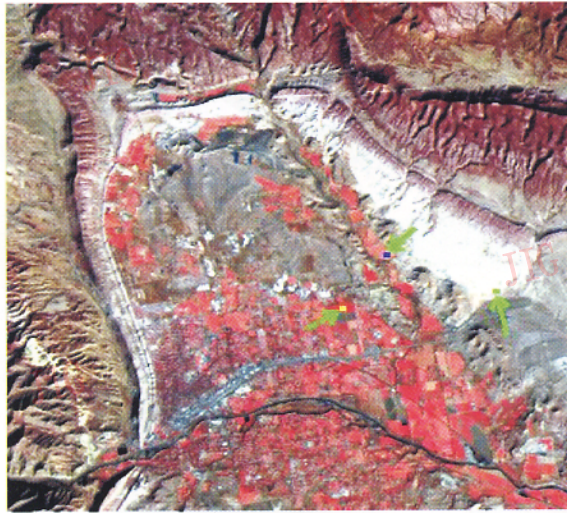


图1 美国科罗拉多州某地区彩色合成TM图象(4、3、2波段合成)

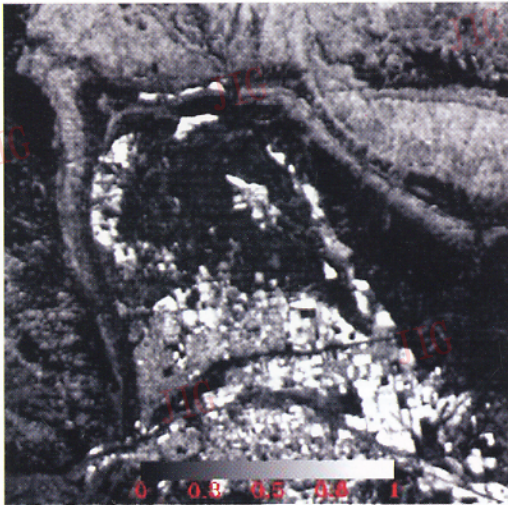


图2 用式(14)计算得到的植被覆盖度图象
(图中红色数据为盖度, 对应图象上不同灰度)



图3 用式(15)计算得到的植被覆盖度图象
(图中红色数据为盖度, 对应图象上不同灰度)

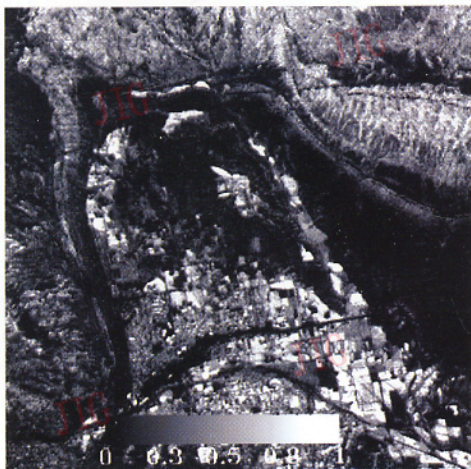


图4 NDVI法计算的植被覆盖度图象



图5 消除植被影响后的背景图象(TM4、3、2波段合成)